

KAJIAN KESUBURAN EKOSISTEM PERAIRAN LAUT SULAWESI TENGGERA BERDASARKAN ASPEK BAKTERIOLOGI

THE STUDY OF FERTILITY MARINE ECOSYSTEM OF SOUTHEAST SULAWESI BASED ON BACTERIOLOGICAL ASPECT

Djoko Hadi Kunarso

Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI, Jln. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430

E-mail: kunarso@yahoo.com

ABSTRACT

The study of waters fertilization in Southeast Sulawesi include Flores Sea, Kabaena Strait, Muna Strait, Buton Strait and Tioro Strait based on bacteriological aspect was conducted on April–May 2006, using the Research Vessel Baruna Jaya VII with total stations 25. The aim of investigation was to find out the total numbers and pattern of distribution heterotrophic bacteria and productivity bacteria in the marine ecosystem of Southeast Sulawesi and related with waters fertilization. The analysis of heterotrophic bacteria was determined based on the Total Plate Count method, whereas bacterial productivity with Acridine Orange Direct Count method. The result indicated that the pattern of distribution and total numbers of heterotrophic bacteria at the surface layers varied between $(10\text{--}10220)\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ with an average $940\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. While at the bottom layer varied between $(2\text{--}488)\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ with an average $91\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. For the bacterial productivity in the form of Carbon biomass at the surface layers varied between $(1.30\text{--}5.84) \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$ with an average $3.56 \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$, at the bottom layer varied between $(0.24\text{--}1.33) \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$ with an average $0.64 \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$. The result of numbers bacteria that in Southeast Sulawesi waters was lower than the Arafura Sea but still higher than the Aceh Sea. The fluctuation of numbers bacteria perhaps due to the factor of monsoon and environmental was influenced on the marine ecosystem. In general this paper conclude that the condition of marine ecosystem Southeast Sulawesi still relatively fertility.

Keywords: *Fertility, heterotrophic bacteria, productivity bacteria, Southeast Sulawesi waters*

ABSTRAK

Penelitian kesuburan di perairan Sulawesi Tenggara meliputi: Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro berdasarkan aspek bakteriologi telah dilakukan pada bulan April – Mei 2006 menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VII, dengan jumlah stasiun penelitian sebanyak 25. Tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan dan pola sebaran bakteri heterotrofik dan bakteri produktivitas pada ekosistem perairan laut Sulawesi Tenggara dan hubungannya dengan kesuburan perairan lautnya. Analisa kandungan bakteri heterotrofik ditentukan berdasarkan metode Total Plate Count. Sedangkan bakteri produktivitas ditentukan dengan metode Acridine Orange Direct Count. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola sebaran dan jumlah kandungan bakteri heterotrofik pada lapisan permukaan berkisar antara $(10\text{--}10220)\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan jumlah rata-rata kandungan $940\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Sedangkan pada kedalaman laut 100 meter berkisar antara $(2\text{--}488)\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan jumlah rata-rata kandungan $91\text{CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Untuk kandungan bakteri produktivitas dalam bentuk biomassa Carbon pada lapisan permukaan berkisar antara $(1.30\text{--}5.84) \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$ dengan jumlah rata-rata kandungannya $3.56 \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$, pada kedalaman laut 100 meter berkisar antara $(0.24\text{--}1.33) \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata kandungannya $0.64 \times 10^{-7}\text{grC}/\mu\text{m}^3$. Berdasarkan hasil diketahui bahwa kandungan bakteri di perairan Sulawesi Tenggara dikategorikan masih rendah bila dibandingkan dengan perairan Laut Arafura namun masih tinggi kandungannya dengan perairan Laut Aceh. Fluktuasi jumlah kandungan bakteri ini dimungkinkan karena faktor musim dan lingkungan yang berpengaruh terhadap ekosistem perairan lautnya. Oleh karena itu, secara umum disimpulkan bahwa kondisi ekosistem perairan laut Sulawesi Tenggara masih relatif subur.

Kata Kunci: Kesuburan, bakteri heterotrofik, bakteri produktivitas perairan Sulawesi Tenggara

I. PENDAHULUAN

Perairan di kawasan Sulawesi Tenggara yang meliputi Laut Flores, Pulau Kabaena, Pulau Muna dan Pulau Buton merupakan kawasan yang sangat potensial perairannya, terutama ketersediaan sumberdaya alamnya baik di kawasan pesisir dan perairan lautnya. Sumberdaya alam laut dan pesisirnya ini mencakup antara lain: bahan-bahan mineral pertambangan, perikanan, kehutanan mangrove, terumbu karang, lamun dan rumput laut. Sehubungan dengan potensi sumberdaya alam yang dimilikinya maka pengelolaannya harus berdasarkan pembangunan yang berkelanjutan di kawasan pesisir dan laut perairan Sulawesi Tenggara. Sedangkan wilayah pesisirnya sangat memberikan manfaat sebagai kawasan industri, pelabuhan, pariwisata dan pemukiman. Oleh karena itu, dengan potensi yang dimilikinya di kawasan perairan tersebut dapat meningkatkan penghasilan sebagai sumber devisa bagi Propinsi Sulawesi Tenggara.

Dalam rangka kegiatan penelitian dinamika dan sumberdaya alam laut di perairan Sulawesi Tenggara, Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI telah melakukan penelitian secara terpadu yang mencakup berbagai aspek bidang kajian terutama bidang dinamika dan sumberdaya alam di perairan tersebut. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui kondisi lingkungan perairan dan inventarisasi sumberdaya alam laut guna menunjang dalam perencanaan, pemanfaatan dan pengelolaan wilayah pesisir dan laut. Salah satu aspek bidang penelitian ialah tinjauan kondisi bakteriologinya, terutama kaitannya dengan kesuburan perairan di kawasan Sulawesi Tenggara. Adapun cakupan wilayah penelitian mencakup Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro. Menurut

Ellenberg *dalam* Rheinheimer (1980) dan Kamiyama (2004) menyebutkan kehadiran bakteri dalam ekosistem perairan laut berperan aktif sebagai dekomposer dalam proses mineralisasi bahan-bahan organik. Sebagai hasil mineralisasi adalah unsur-unsur hara yang esensial, merupakan sumber nutrisi bagi berbagai organisme laut yang sesuai dalam trofik levelnya. Oleh karena itu, keterkaitan bakteri didalam ekosistem perairan laut terutama dalam penyedia unsur hara dapat digunakan sebagai indikator kesuburan perairan. Namun demikian, pendekatan lain untuk menentukan kesuburan perairan dapat ditentukan berdasarkan produktivitas perairan dengan menentukan banyaknya konsentrasi klorofil-a fitoplankton (Nybakken, 1988). Sedangkan faktor lain penyebab kesuburan ekosistem perairan laut adalah masuknya material-material organik dalam bentuk karbon (C) melalui aliran sungai (*river discharge*). Berdasarkan hasil laporan dari IGBP Report No.33 yang disampaikan oleh Pernetta dan Milliman (1995) sebanyak 0.4 Giga ton material organik (C) per tahun dalam bentuk terlarut dan partikel yang masuk dalam ekosistem perairan laut berasal dari daratan melalui sungai. Dahuri *et al.* (1996) mengutarakan bahwa kesuburan di perairan laut lepas dapat terjadi karena proses *upwelling* yaitu akibat naiknya masa air laut dari lapisan dasar perairan ke kawasan perairan permukaan.

Sehubungan dengan uraian diatas, telah dilakukan kajian kesuburan ekosistem perairan laut Sulawesi Tenggara. Hal ini dikarenakan informasi tentang kesuburan pada ekosistem perairan laut berdasarkan aspek bakteriologinya masih sangat sedikit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan dan pola sebaran bakteri secara vertikal dan horizontal di perairan Sulawesi Tenggara

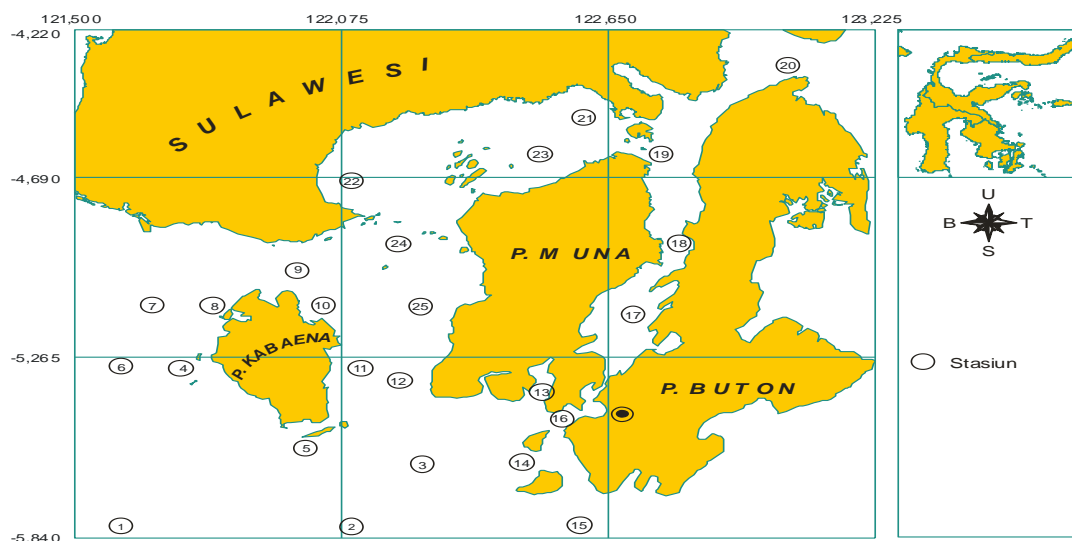
yang mencakup Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro serta keterkaitannya dengan kesuburan perairan. Sejalan dengan hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pemerintah daerah dalam mengelola lingkungan dan mengembangkan kawasan wilayah pesisir dan lautnya, terutama karena beberapa lokasi penelitian berpotensi sebagai kawasan penangkapan ikan dan lokasi budidaya biota laut.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian kajian kesuburan ekosistem perairan laut Sulawesi Tenggara meliputi perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro telah dilakukan pada bulan April – Mei 2006, menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VII dengan jumlah stasiun penelitian sebanyak 25 (Gambar 1). Sampel air laut diambil pada kedalaman permukaan (± 0.5 meter) dan kedalaman 100 meter dengan menggunakan alat Rosset sampler. Setelah sampel air laut diambil,

kemudian secara aseptis ditransfer sebanyak 300 ml kedalam botol steril.

Untuk mengetahui kandungan bakteriologinya beberapa parameter yang dilakukan dalam penelitian meliputi: Jumlah kandungan bakteri heterotrofik dan Total sel bakteri. Penentuan jumlah kandungan bakteri heterotrofik dari sampel air laut berdasarkan metode tuang (*Pour Plate Method*) menurut Rheinheimer (1980), sebanyak 300 ml sampel air laut secara aseptis diambil 1 ml dan dilakukan pengenceran hingga 10^{-1} kemudian dimasukan kedalam cawan petri steril sebanyak 3 cawan (*triplicate*). Selanjutnya cawan petri yang telah berisi sampel air laut dituangkan media spesifik Marine agar E-2216 DIFCO untuk menumbuhkan bakteri heterotrofik. Setelah cawan petri dituangkan dengan media agar kemudian diinkubasikan selama 5 – 7 hari pada temperatur kamar hingga koloni bakteri tumbuh. Penentuan jumlah kandungan bakteri produktivitas berdasarkan konversi dari total sel bakteri, untuk mengetahui total sel bakteri menggunakan metode Acridine Orange Direct Counting (AODC) menurut



Gambar 1. Lokasi penelitian di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro, Sulawesi Tenggara pada bulan April – Mei 2006

Zimmerman & Meyer Reil (1974) dan Hobbie *et al.* (1977). Sampel air laut diambil secara aseptis sebanyak 10 ml kemudian dimasukkan ke dalam tabung *screw cup* steril dan ditambahkan zat pengawet formalin 2%. Selanjutnya sampel air laut tersebut, diambil sebanyak 1 ml ditransfer ke dalam filter holder dan ditambahkan zat warna Acridine Orange 0.001 %. Kertas filter yang dipakai sebelumnya telah diwarnai dengan sudan black dan filter yang digunakan terbuat dari bahan polikarbonat dengan pori-pori 0,22 μm dan berdiameter 25 mm. Setelah dilakukan proses penyaringan filtrat hasil saringan diletakkan pada objek glass yang sebelumnya ditetesi oleh minyak imersi dan kemudian diamati sel bakterinya di bawah mikroskop Epifluorescence NIKON. Hasil yang diperoleh dari penghitungan dibawah mikroskop menunjukkan total sel bakteri. Untuk menentukan kandungan bakteri produktiviti berdasarkan konversi dari total sel bakteri kedalam total biomass bakteri berdasarkan metode dari Van Es and Meyer Reil (1982) dan Cho and Azam (1990). Langkah berikutnya dengan diketahui kandungan total sel bakteri kemudian dikonversikan menjadi bakteri biovolume, dengan mengalikan jumlah sel bakteri dan biovolume sel yaitu $0.07 \mu\text{m}^3$. Kemudian dari bakteri biovolume ini dikonversikan dalam bentuk biomass bakteri yang telah diketahui Conversion Factornya (CF), untuk setiap sel bakteri laut CF nya sebesar $102 \times 10^{-15} \text{ g C}/\mu\text{m}^3$ Van Es and Meyer Reil (1982). Hasil akhir dari perhitungan konversi tersebut adalah biomass bakteri dalam bentuk elemen karbon (C) unit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian kesuburan ekosistem di perairan laut Sulawesi Tenggara yang

meliputi perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro yang telah dilakukan pada periode penelitian bulan April – Mei 2006 ditinjau dari aspek kondisi bakteriologinya dapat disajikan dalam Tabel 1 dan 2, serta pada Gambar 2A,B,C,D,E dan 3, 4A,B,C,D,E, dan 5.

3.1. Bakteri Heterotrofik

Penelitian terhadap kandungan bakteri heterotrofik di perairan Sulawesi Tenggara, secara umum menunjukkan bahwa jumlah kandungannya bervariasi pada stasiun penelitian baik di stasiun yang terletak pada perairan pantai maupun perairan lepas pantai. Sedangkan pada pola sebarannya baik secara horizontal dan vertikal terlihat jumlah kandungan bakteri heterotrofiknya yang berbeda sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengamatan yang diperoleh menunjukkan kandungan bakteri heterotrofik secara horizontal pada kedalaman laut permukaan (± 0.5 meter) jumlah kandungan bakteri heterotrofik menunjukkan kisaran antara $(10-10220) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan rata-rata jumlah kandungannya $940 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Namun bila ditinjau dari 5 lokasi berdasarkan wilayah penelitiannya memperlihatkan bahwa di perairan Selat Buton kandungan bakteri heterotrofiknya lebih tinggi, sedangkan yang terendah kandungan bakterinya di perairan Selat Muna. Di perairan Selat Buton kandungan bakteri heterotrofik berkisar antara $(40 - 10220) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan rata-rata jumlahnya $2288 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$, di perairan Selat Muna berkisar antara $(40 - 200) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan rata-rata jumlahnya $110 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Sedangkan jumlah kandungan bakteri heterotrofik pada profil vertikal yaitu di kedalaman laut 100 meter berkisar antara $(2 - 488) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$, dengan jumlah rata – rata kandungan bakterinya yaitu $91 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Bila ditinjau dari 5

wilayah penelitian menunjukkan bahwa perairan di Laut Flores cenderung lebih tinggi kandungan bakteri heterotrofiknya, hal ini terlihat dari pola sebarannya berkisar antara $(2 - 488) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan rata-rata jumlahnya $136 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Untuk kandungan bakteri heterotrofik yang terendah jumlah bakterinya dijumpai di perairan Selat Buton, dengan kisaran kandungannya antara $(0 - 14) \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dengan rata-rata jumlahnya $4 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ (Tabel 1).

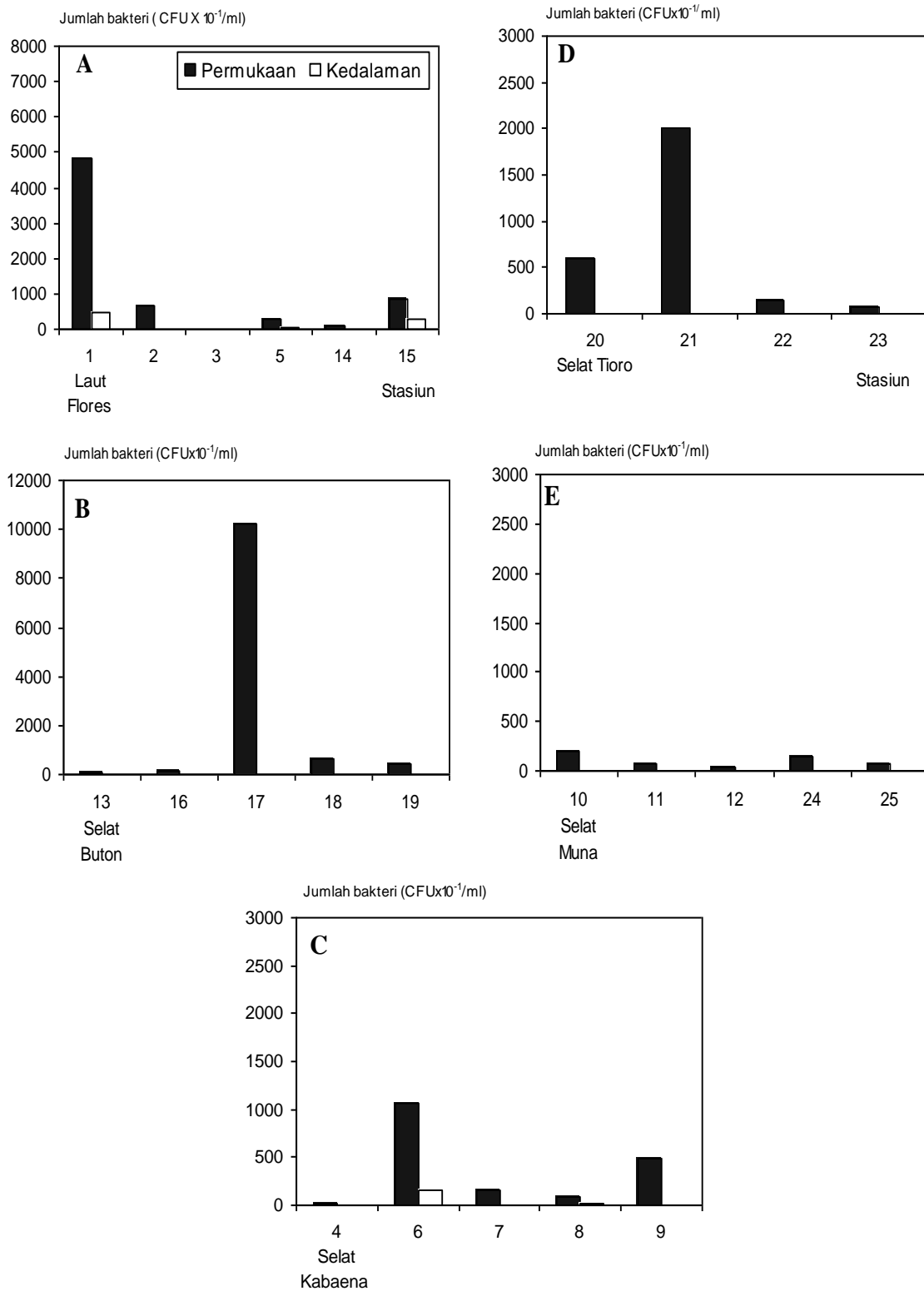
Berdasarkan pola sebarannya jumlah kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan dan kedalaman laut 100 meter menunjukkan adanya perbedaan. Berdasar pada Gambar 2A,B,C,D dan E, menunjukkan kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan laut lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman laut 100 meter. Sebagian besar stasiun penelitian untuk permukaan laut terletak di kawasan perairan pantai (*neritik*). Namun, sebaliknya untuk stasiun kedalaman laut 100 meter jumlahnya relatif sedikit dan terletak di perairan laut terbuka (*oseanik*). Oleh karena itu, ditinjau dari profil pola sebaran kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan laut di perairan Sulawesi Tenggara yang meliputi Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro secara umum sangat fluktuatif. Secara umum stasiun-stasiun penelitian di dekat perairan pantai cenderung lebih tinggi kandungannya bila dibandingkan dengan stasiun-stasiun penelitian di lepas pantai. Kandungan bakteri heterotrofik pada perairan Selat Buton, Selat Tioro, Selat Kabaena cenderung lebih tinggi dibandingkan pada kawasan perairan Selat Muna a, kecuali di perairan laut Flores yang

terlihat relatif tinggi kandungan bakteri heterotrofiknya walaupun stasiun penelitiannya terletak di perairan lepas pantai. Sedangkan pada kedalaman laut 100 meter di perairan Sulawesi Tenggara, menunjukkan bahwa di perairan Laut Flores, Selat Kabaena dan Selat Buton terindikasi adanya kandungan bakteri heterotrofik. Sedangkan di perairan Selat Muna dan Selat Tioro tidak terindikasi adanya bakteri heterotrofik. Hal ini dikarenakan pada 3 wilayah penelitian tersebut memiliki kedalaman laut yang relatif dalam, sedangkan pada 2 wilayah penelitian laut lainnya relatif dangkal. Pada kedalaman laut 100 meter di perairan Laut Flores memperlihatkan kandungan bakteri heterotrofik lebih tinggi dibandingkan dengan perairan Selat Muna dan Tioro, akan tetapi di perairan Selat Muna dan Selat Tioro tidak ditemukan bakteri heterotrofik (Gambar 2A,B,C,D dan E).

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh pada pola distribusi kandungan bakteri heterotrofik di perairan Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa pada stasiun-stasiun penelitian dekat perairan pantai kandungan bakterinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan stasiun penelitian yang jauh dari perairan pantai. Sedangkan berdasarkan profil kedalaman laut, kandungan bakteri heterotrofik di lapisan permukaan lebih tinggi dibandingkan di kedalaman laut 100 meter. Tingginya kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan laut dimungkinkan karena pengaruh masukan dari daratan melalui aliran sungai (*run off*) yang bermuara di laut, terutama di Pulau Buton, Pulau Muna dan Pulau Kabaena.

Tabel 1. Jumlah kandungan bakteri heterotrofik pada kedalaman laut permukaan dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro, Sulawesi Tenggara pada bulan April – Mei 2006

| No. Stasiun | Lokasi Penelitian | Posisi Stasiun | | Kedalaman Laut (m) | Jumlah kandungan bakteri Heterotrofik (CFU x 10 ⁻¹ /ml) | | | | |
|--|-------------------|-----------------|----------------|----------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---|
| | | Longitude (E) | Latitude (S) | | Lapisan Permukaan | Kisaran Rata - rata | Kedalaman 100 meter | Kisaran Rata - rata | |
| 1 | Laut Flores | 121° 35.881 | 05° 47.941 | 905 | 4840 | 20 - 4840 | 488 | 2 - 488 | |
| 2 | | 122° 05.921 | 05° 48.101 | 2000 | 680 | | 2 | | |
| 3 | | 122° 14.933 | 05° 36.085 | 1800 | 20 | | 5 | | |
| 5 | | 121° 59.878 | 05° 32.971 | 460 | 280 | 1130 | 33 | 136 | |
| 14 | | 122° 27.916 | 05° 36.010 | 480 | 90 | 11 | | | |
| 15 | | 122° 35.016 | 05° 39.970 | 238 | 870 | 274 | | | |
| 4 | Selat Kabaena | 121° 43.900 | 05° 18.022 | 340 | 10 | 10 - 1070 | 6 | 6 - 151 | |
| 6 | | 121° 35.933 | 05° 17.924 | 850 | 1070 | | 151 | | |
| 7 | | 121° 40.081 | 05° 06.090 | 412 | 150 | | 6 | | |
| 8 | | 121° 48.007 | 05° 06.188 | 230 | 80 | 360 | 10 | 43 | |
| 9 | | 121° 58.903 | 04° 59.457 | 70 | 490 | - | | | |
| 10 | Selat Muna | 122° 01.939 | 05° 05.818 | 32 | 200 | 40 - 200 | - | - | |
| 11 | | 122° 06.905 | 05° 17.976 | 60 | 80 | | - | | |
| 12 | | 122° 12.020 | 05° 20.884 | 44 | 40 | | - | | |
| 24 | | 122° 11.892 | 04° 54.020 | 37 | 150 | 110 | - | | |
| 25 | | 122° 14.944 | 05° 06.026 | 13 | 80 | - | | | |
| 13 | Selat Buton | 122° 30.452 | 05° 22.529 | 24 | 40 | 40 - | - | 0 - 14 | |
| 16 | | 122° 33.018 | 05° 27.982 | 238 | 130 | 10220 | 14 | | |
| 17 | | 122° 41.974 | 05° 07.932 | 84 | 10220 | - | - | | |
| 18 | | 122° 47.974 | 04° 54.020 | 39 | 610 | 2288 | - | | 4 |
| 19 | | 122° 45.924 | 04° 36.983 | 58 | 440 | - | | | |
| 20 | Selat Tioro | 123° 02.040 | 04° 19.955 | 90 | 600 | 70 - 2000 705 | - | - | |
| 21 | | 122° 35.889 | 04° 30.084 | 37 | 2000 | | - | | |
| 22 | | 122° 05.899 | 04° 24.979 | 21 | 150 | | - | | |
| 23 | | 122° 30.396 | 04° 37.000 | 37 | 70 | | - | | |
| Jumlah kandungan bakteri | | | | | 23390 | | 1000 | | |
| Rata - rata jumlah kandungan bakteri | | | | | 940 | | 91 | | |
| Nilai minimum kandungan bakteri | | | | | 10 | | 2 | | |
| Nilai maksimum kandungan bakteri | | | | | 10220 | | 488 | | |
| Kisaran kandungan bakteri pada kedalaman permukaan | | | | | 10 - 10220 | | 2 - 488 | | |



Gambar 2. Pola sebaran kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan laut dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores (A), Selat Buton (B), Selat Kabaena (C), Selat Tioro (D) dan Selat Muna (E) pada bulan April – Mei 2006

Aliran sungai yang membawa pasokan material organik secara terus menerus dapat memacu proses kehidupan bakteri laut sebagai sumber nutrisinya. Disamping itu, perairan pantai merupakan zona eufotik dimana konsentrasi unsur-unsur hara dalam kolom air lebih tinggi kandungannya sehingga ekosistem perairannya lebih produktif dibandingkan dengan di laut lepas (Dahuri *et al.*, 1996). Selain itu, dapat juga berasal dari nutrisi yang tersedia didalam ekosistem perairan laut dalam bentuk detritus. Sedangkan pada stasiun penelitian yang jauh dari pantai kandungan bakteri heterotrofik relatif rendah. Rendahnya kandungan bakteri heterotrofik ini erat kaitannya dengan suplai dan distribusi nutrisi di dalam ekosistem perairan laut. Oleh karena itu, pengaruh daratan terhadap jumlah kandungan bakteri sangat signifikan, terutama pada stasiun-stasiun penelitian yang terletak di dekat perairan pantai bila dibandingkan dengan stasiun-stasiun penelitian di lepas pantai.

Kandungan bakteri heterotrofik pada kedalaman laut 100 meter lebih rendah bila dibandingkan dengan kandungan bakteri heterotrofik pada lapisan permukaan. Perbedaan terhadap jumlah kandungan bakteri ini sangat erat kaitannya dengan konsentrasi kandungan material organik yang tersedia dalam kolom air yang merupakan sumber nutrisi bagi bakteri. Sumber nutrisi di perairan laut dalam sangat tergantung pada partikel-partikel dalam bentuk detritus, fecal pellet organisme pelagik, dan organisme pelagik yang mati. Dikarenakan kandungan partikel yang relatif rendah, mengakibatkan jumlah kandungan bakteri heterotrofik cenderung menurun. Akan tetapi dengan terjadinya *upwelling* dapat menyebabkan kondisi perairan kaya unsur hara (Dahuri *et al.*, 1996). Menurut Ellenberg (*dalam* Rheinheimer 1980) peranan bakteri

heterotrofik berfungsi sangat vital sebagai dekomposer di lingkungan laut, dimana material-material organik akan diurai menjadi konstituen-konstituen yang lebih sederhana sebagai unsur hara yang esensial. Pada akhirnya unsur-unsur hara tersebut sebagai nutrisi bagi organisme laut dalam jaringan makanan sesuai dengan tingkatan tropiknya. Sehingga pada akhirnya bakteri heterotrofik dapat merupakan komponen biotik sebagai penjaga keseimbangan ekosistem laut dan penyedia nutrisi bagi kehidupan organisme laut.

Oleh karena itu, jika ditinjau dari 5 wilayah penelitian di perairan Sulawesi Tenggara (Gambar 3), menunjukkan bahwa perairan Selat Buton merupakan perairan yang relatif tinggi dengan rata-rata kandungan bakteri heterotrofiknya yaitu $2288 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ bila dibandingkan dengan perairan Selat Kabaena, Selat Muna dan Selat Tioro. Namun demikian kandungan bakteri heterotrofik di Laut Flores terlihat tinggi yaitu $1130 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Oleh karena itu, di kedua perairan laut tersebut mengindikasikan kandungan material organik yang relatif tinggi dibandingkan dengan perairan laut lainnya. Sehingga kondisi ini mengindikasikan ekosistem perairan pantai dan lautnya sangat berpotensi untuk diupayakan sebagai kawasan budidaya biota laut dan perikanan tangkap. Sedangkan ekosistem wilayah pesisir di Pulau Buton dan pulau Kabaena terutama hutan mangrove dan padang lamun relatif masih baik, sehingga pengelolaan sumberdaya wilayah pesisirnya perlu pengawasan yang optimal. Agar pemanfaatan sumberdaya alam lautnya dapat terjaga dan tidak melampaui daya dukung atau kapasitasnya.

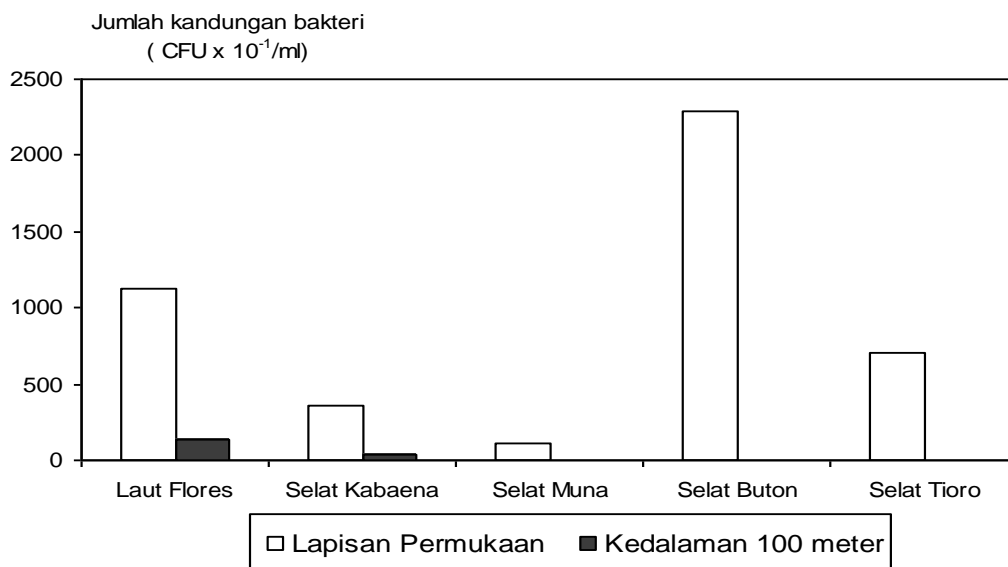
Akan tetapi hasil penelitian terhadap kandungan bakteri heterotrofik di perairan Sulawesi Tenggara, bila dibandingkan dengan beberapa di

perairan Indonesia yaitu dengan perairan Selat Makassar (2008) dan perairan Selat Lampung (2010). Terlihat bahwa kandungannya di perairan Sulawesi Tenggara pada lapisan permukaan masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Selat Makassar dan perairan Selat Lampung. Di perairan Sulawesi Tenggara rata-rata kandungan heterotofik yaitu $940 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$, di perairan Selat Lampung yaitu $538 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$ dan Selat Makassar $93 \text{ CFU} \times 10^{-1}/\text{ml}$. Perbedaan jumlah bakteri ini sangat erat kaitannya dengan konsentrasi kandungan material organik yang tersedia dalam kolom air yang merupakan sumber nutrisi bagi bakteri. Oleh karena itu, ditinjau dari jumlah kandungannya di perairan Sulawesi Tenggara mengindikasikan kandungan material organik relatif tinggi dibandingkan dengan perairan Selat Lampung dan Selat Makassar.

3.2. Bakteri Produktivitas

Hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap kandungan bakteri produktivitas dalam bentuk biomass

Carbon (C) di perairan Sulawesi Tenggara yang meliputi Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro, menunjukkan tingkat yang bervariasi baik di stasiun yang terletak pada perairan pantai maupun perairan di lepas pantai. Sedangkan pada pola sebarannya baik secara horizontal maupun vertikal terlihat kandungan bakteri produktivitasnya variatif sebagaimana terlihat pada Tabel 2. Pola sebaran secara horizontal bakteri produktivitas pada kedalaman laut permukaan (± 0.5 meter) menunjukkan kisaran antara $(1.30-5.84) \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dengan jumlah rata-rata $3.56 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$. Apabila ditinjau dari 5 lokasi wilayah penelitiannya memperlihatkan di perairan Selat Buton kandungan bakteri produktivitasnya lebih tinggi, sedangkan yang terendah jumlah adalah di perairan Selat Tioro. Di perairan Selat Buton kandungan bakteri produktivitasnya berkisar antara $(3.95-5.84) \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata jumlahnya $5.05 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$, di



Gambar 3. Perbandingan kandungan bakteri heterotrofik pada kedalaman laut permukaan dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro, Sulawesi Tenggara pada periode penelitian bulan April – Mei 2006

perairan Selat Tioro berkisar antara $(1.75-3.88) \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata jumlahnya $2.73 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$. Sedangkan jumlah kandungan bakteri produktivitas secara vertikal pada kedalaman laut 100 meter berkisar antara $(0.24-1.33) \times \text{grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata kandungannya $0.64 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$. Bila ditinjau dari lokasi di 5 wilayah

penelitian menunjukkan bahwa perairan Selat Kabaena cenderung lebih tinggi kandungan bakteri produktivitasnya, hal ini terlihat dari pola sebarannya berkisar antara $(0.24-1.05) \times \text{grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata kandungannya $0.74 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$. Kandungan bakteri produktivitas terendah dijumpai di perairan Selat Buton, dengan kisaran kandungannya

Tabel 2. Jumlah kandungan bakteri produktivitas pada kedalaman laut permukaan dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton dan Selat Tioro, Sulawesi Tenggara pada bulan April – Mei 2006

| No. Stasiun | Lokasi Penelitian | Posisi Stasiun | | Kedalaman Laut (m) | Kandungan Bakteri Produktivitas (x 10 ⁻⁷ gr C / um ³) | | | |
|--|-------------------|-----------------|----------------|----------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Longitude (E) | Latitude (S) | | Lapisan Permukaan | Kisaran Rata - rata | Kedalaman 100 meter | Kisaran Rata - rata |
| 1 | Laut Flores | 121° 35.881 | 05° 47.941 | 905 | 2.16 | 2.16 - 3.38 | 0.47 | 0.29 - 1.33 |
| 2 | | 122° 05.921 | 05° 48.101 | 2000 | 2.91 | | 0.52 | |
| 3 | | 122° 14.933 | 05° 36.085 | 1800 | 3.26 | | 0.45 | |
| 5 | | 121° 59.878 | 05° 32.971 | 460 | 2.55 | 2.78 | 0.63 | 0.62 |
| 14 | | 122° 27.916 | 05° 36.010 | 480 | 2.43 | 0.29 | | |
| 15 | | 122° 35.016 | 05° 39.970 | 238 | 3.38 | 1.33 | | |
| 4 | Selat Kabaena | 121° 43.900 | 05° 18.022 | 340 | 2.76 | 1.30 - 4.25 | 0.89 | 0.24 - 1.05 |
| 6 | | 121° 35.933 | 05° 17.924 | 850 | 3.84 | | 0.78 | |
| 7 | | 121° 40.081 | 05° 06.090 | 412 | 2.97 | | 0.24 | |
| 8 | | 121° 48.007 | 05° 06.188 | 230 | 4.25 | 3.03 | 1.05 | 0.74 |
| 9 | | 121° 58.903 | 04° 59.457 | 70 | 1.30 | - | | |
| 10 | Selat Muna | 122° 01.939 | 05° 05.818 | 32 | 4.05 | 2.81 - 5.21 | - | - |
| 11 | | 122° 06.905 | 05° 17.976 | 60 | 2.81 | | - | |
| 12 | | 122° 12.020 | 05° 20.884 | 44 | 3.95 | | - | |
| 24 | | 122° 11.892 | 04° 54.020 | 37 | 4.91 | 4.20 | - | |
| 25 | | 122° 14.944 | 05° 06.026 | 13 | 5.21 | - | | |
| 13 | Selat Buton | 122° 30.452 | 05° 22.529 | 24 | 4.98 | 3.95 - 5.84 | - | - - 0.38 |
| 16 | | 122° 33.018 | 05° 27.982 | 238 | 3.95 | | 0.38 | |
| 17 | | 122° 41.974 | 05° 07.932 | 84 | 4.78 | | - | |
| 18 | | 122° 47.974 | 04° 54.020 | 39 | 5.73 | 5.05 | - | 0.38 |
| 19 | | 122° 45.924 | 04° 36.983 | 58 | 5.84 | - | | |
| 20 | Selat Tioro | 123° 02.040 | 04° 19.955 | 90 | 3.88 | 1.75 - 3.88 2.73 | - | - |
| 21 | | 122° 35.889 | 04° 30.084 | 37 | 2.49 | | - | |
| 22 | | 122° 05.899 | 04° 24.979 | 21 | 2.35 | | - | |
| 23 | | 122° 30.396 | 04° 37.000 | 37 | 1.75 | | - | |
| Jumlah kandungan bakteri produktivitas | | | | | 89.16 | | 7.03 | |
| Rata - rata jumlah kandungan bakteri | | | | | 3.56 | | 0.64 | |
| Nilai minimum kandungan bakteri | | | | | 1.30 | | 0.24 | |
| Nilai maksimum kandungan bakteri | | | | | 5.84 | | 1.33 | |
| Kisaran kandungan bakteri pada kedalaman permukaan | | | | | 1.30 - 5.84 | | 0.24 - 1.33 | |

antara $(0-0.38) \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dengan rata-rata jumlahnya $0.38 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ (Tabel 2).

Berdasarkan hasil pengamatan pola sebaran kandungan bakteri produktivitas pada permukaan laut dan kedalaman laut 100 meter, menunjukkan adanya perbedaan jumlah kandungan. Kondisi ini terlihat pada Gambar 4, hasil penelitian yang diperoleh terlihat bahwa kandungan bakteri produktivitas pada permukaan laut lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedalaman laut 100 meter. Ditinjau dari pola sebaran di permukaan laut terlihat pada stasiun-stasiun penelitian di dekat kawasan perairan pantai lebih tinggi kandungan bakterinya bila dibandingkan dengan stasiun-stasiun penelitian di lepas pantai. Sedangkan kandungan bakteri pada kedalaman laut 100 meter relatif rendah. Hal ini dikarenakan jumlah stasiun penelitian yang diambil sampelnya tidak banyak. Sehingga kandungan bakterinya sangat sedikit dan lokasi stasiun penelitian terletak di perairan laut terbuka. Kondisi ini terlihat pola distribusinya di perairan Selat Buton, Selat Kabaena dan Selat Muna cenderung lebih tinggi kandungannya. Sedangkan pada kawasan perairan Laut Flores dan Selat Tioro terlihat distribusi bakteri produktivitasnya relatif lebih rendah kandungannya. Sedangkan pola sebaran kandungan bakteri produktivitas pada kedalaman laut 100 meter di perairan Sulawesi Tenggara, menunjukkan di Laut Flores Selat Kabaena dan Selat Buton dapat terindikasi. Namun di perairan Selat Muna dan Selat Tioro kandungan bakteri produktivitas tidak terindikasi, dikarenakan total sel bakterinya tidak dapat diambil. Hal ini dikarenakan pada 3 wilayah penelitian memiliki kedalaman laut yang dalam sedangkan pada 2 wilayah penelitian lain kedalaman laut relatif dangkal. Jika ditinjau dari jumlah kandungan bakteri produktivitasnya,

maka perairan Selat Kabaena dan Laut Flores lebih tinggi dibandingkan dengan perairan Selat Muna. Berdasar pola distribusi vertikal kandungan bakteri produktivitas di perairan Sulawesi Tenggara secara umum terlihat bahwa pada stasiun-stasiun penelitian didekat perairan pantai menunjukkan kandungan bakteriyang lebih tinggi bila dibandingkan dengan stasiun penelitian yang jauh dari perairan pantai. Sedangkan berdasar kedalaman laut maka kandungan bakteri produktivitas di permukaan laut jumlahnya lebih tinggi bila dibandingkan dengan di kedalaman laut 100 meter. Kondisi ini memperlihatkan kecenderungan yang sepadan dengan pola distribusi kandungan bakteri heterotrofik.

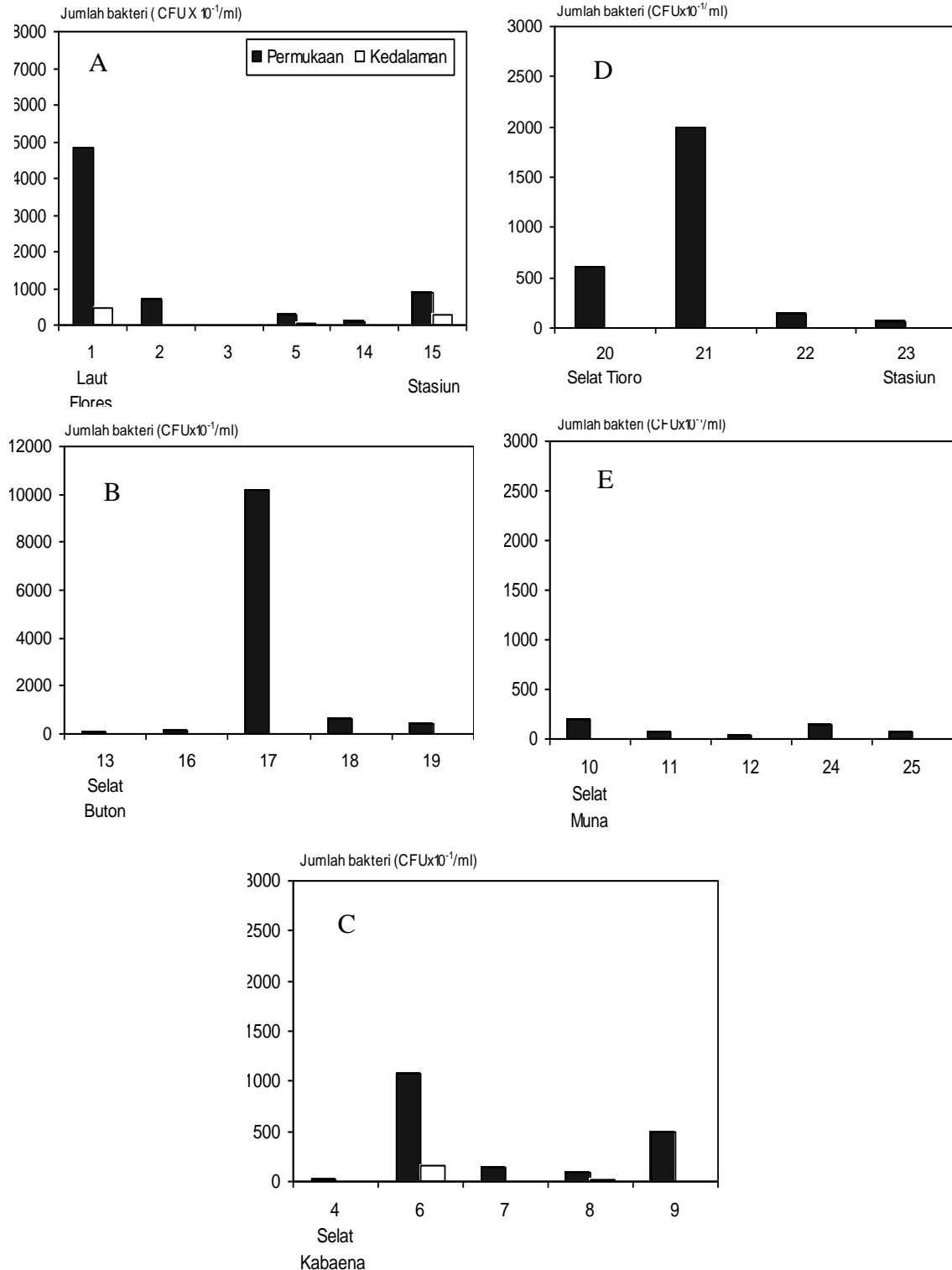
Ditinjau dari pola penyebaran kandungan bakteri produktivitas, terlihat adanya perbedaan densitas kandungan pada masing-masing kawasan penelitian di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Buton, Selat Muna dan Selat Tioro. Perbedaan ini dapat diduga karena adanya pasokan material organik dari daratan melalui aliran sungai yang ada disekitar pulau-pulau di kawasan Sulawesi Tenggara yang memasuki perairan lautnya. Selain itu, dapat juga berasal dari material organik yang telah tersedia dari ekosistem perairan laut itu sendiri (*autochthonous*). Dengan semakin tingginya material organik dimungkinkan terjadinya pengkayaan zat hara yang terkandung didalam ekosistem perairan laut (Nybakken 1988). Selanjutnya Pernetta dan Milliman (1995) melaporkan bahwa ekosistem perairan laut setiap tahunnya menerima sebanyak 0.4 Giga ton material organik dalam bentuk Carbon yang berasal dari daratan melalui aliran sungai. Oleh karena itu, pada perairan yang dangkal terutama perairan pantai tingkat produktivitas perairannya sangat tinggi. Sedangkan pada laut yang dalam relatif rendah

kandungan bakteri produktivitasnya bila dibandingkan dengan lapisan permukaan. Perbedaan kandungan berdasarkan kedalaman ini dikarenakan faktor terbatasnya kandungan nutrisi atau detritus, mikroorganisme autotrofik dan penetrasi cahaya matahari (Kunarso *et al.*, 2008). Kandungan biomassa bakteri yang merupakan komponen biotik dari bakteri produktivitas di lingkungan perairan laut ini sangat penting terhadap kontribusi bakteri dalam penyedia unsur karbon (C). Unsur karbon adalah salah satu sumber nutrisi bagi organisme laut yang berperan dalam siklus rantai makanan ekosistem perairan laut (Azam *et al.*, 1983 dan Kamiyama 2004). Oleh karena itu, tingkat kandungan bakteri produktivitas dapat dijadikan indikasi tingkat kesuburan perairan, dimana jika kandungan bakteri produktivitasnya tinggi maka dapat diduga tingkat kesuburan suatu perairan akan semakin baik. Namun demikian kriteria tingkat kesuburan bagi peruntukan ekosistem perairan tropik belum ada terutama di perairan Indonesia. Oleh karena itu terdapat suatu peluang untuk menjadikan kandungan bakteri produktivitas sebagai indikator kesuburan perairan laut.

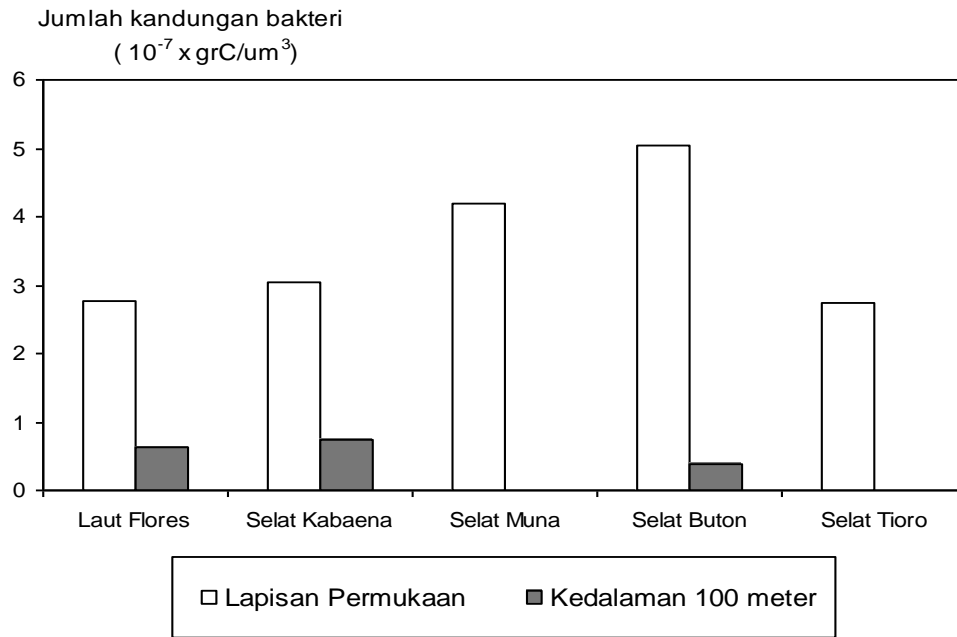
Berdasarkan kandungan bakteri produktivitas pada 5 wilayah penelitian di perairan Sulawesi Tenggara (Gambar 5), menunjukkan bahwa perairan Selat Buton dan Selat Muna memiliki kandungan yang tinggi dengan rata-rata jumlahnya masing-masing $5.05 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dan $4.20 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$. Sedangkan yang terendah di perairan Selat Tioro dan Laut Flores. Oleh karena itu, di kedua perairan laut tersebut Selat Buton dan Selat Muna mengindikasikan kandungan material organik dalam

bentuk Carbon (C) yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perairan laut lainnya yaitu Selat Kabaena, Selat Tioro dan Laut Flores. Berdasarkan kondisi bakteriologinya ini maka perairan Selat Buton dan Selat Muna dimungkinkan ekosistem perairan pantai dan lautnya menunjukkan kondisi yang subur, oleh karena itu sangat berpotensi untuk diupayakan sebagai peruntukan kawasan budidaya biota laut.

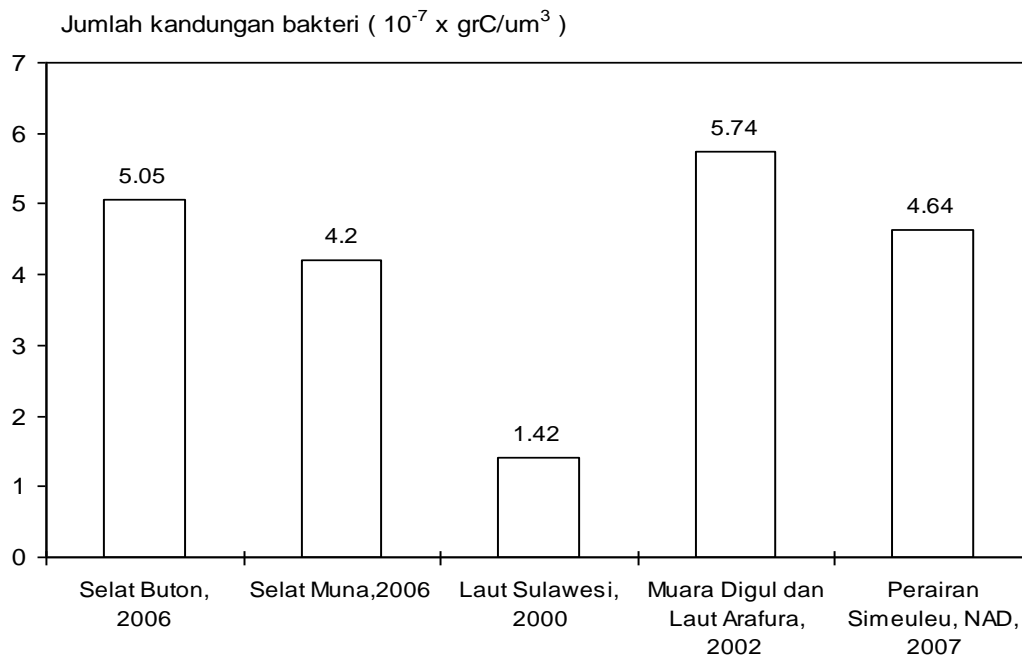
Beberapa hasil penelitian terhadap kandungan bakteri produktivitas yang telah dilakukan di perairan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi kandungan bakteri produktivitas di perairan Sulawesi Tenggara terutama di Selat Buton dan Selat Muna ($5.05 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$ dan $4.20 \times 10^{-7} \text{ grC}/\mu\text{m}^3$), masih lebih rendah bila dibandingkan dengan muara Sungai Digul dan Laut Arafura dengan kandungan $5.74 \times 10^{-7} \text{ gr C}/\mu\text{m}^3$ (Kunarso 2005). Akan tetapi di perairan Selat Buton dan Selat Muna kandungan bakteri produktivitasnya masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Simeuleu, NAD dan Laut Sulawesi. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Kunarso (2010) di perairan Simeuleu, NAD kandungan bakterinya yaitu $4.64 \times 10^{-7} \text{ gr C}/\mu\text{m}^3$, sedangkan di perairan Laut Sulawesi yaitu $1.42 \times 10^{-7} \text{ gr C}/\mu\text{m}^3$ (Ruyitno 2000). Bila diamati dari 5 lokasi penelitian terlihat perbedaan yang jelas yaitu Laut Sulawesi menunjukkan kandungan bakteri produktivitasnya terendah dibandingkan dengan perairan laut Selat Buton, Selat Muna, Simeuleu, NAD serta muara Sungai Digul dan Laut Arafura.



Gambar 4. Pola sebaran kandungan bakteri produktivitas pada permukaan laut dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores (A), Selat Buton (B), Selat Kabaena (C), Selat Tioro (D) dan Selat Muna (E) pada bulan April – Mei 2006



Gambar 5. Perbandingan kandungan bakteri produktivitas pada permukaan laut dan kedalaman 100 meter di perairan Laut Flores, Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Buton, dan Selat Tioro, Sulawesi Tenggara pada periode penelitian bulan April – Mei 2006



Gambar 6. Kandungan bakteri produktiviti dari berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan pada beberapa perairan di Indonesia

Sedangkan pada perairan Selat Buton, Selat Muna, muara Sungai Digul dan Laut Arafura menunjukkan kandungan bakteri produktivitas yang tinggi. Kandungan bakteri yang tinggi pada beberapa lokasi penelitian, dapat dikarenakan faktor kondisi perairan yang relatif dangkal bila dibandingkan dengan perairan Laut Sulawesi dan perairan Simeuleu sehingga produktivitas perairannya tinggi. Hal ini dapat ditunjang dengan ekosistem perairan dangkal sumberdaya alam lautnya relatif baik. Berdasarkan hasil perbandingan terhadap kandungan bakteri produktivitas dengan beberapa lokasi perairan laut di Indonesia, menunjukkan bahwa di perairan muara Sungai Digul dan Laut Arafura serta Selat Buton dan Selat Muna merupakan perairan yang subur bila dibandingkan dengan perairan Laut Sulawesi dan perairan Simeuleu, Nanggroe Aceh Darussalam.

IV. KESIMPULAN

Kandungan bakteri heterotrofik menunjukkan bahwa di lokasi penelitian perairan Selat Buton lebih tinggi bila dibandingkan dengan Selat Kabaena, Selat Muna, Selat Tioro dan Laut Flores. Hal ini mengindikasikan bahwa ekosistem perairan Selat Buton memiliki kandungan material organik yang relatif tinggi.

Pola sebaran kandungan bakteri heterotrofik pada permukaan laut lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedalaman laut 100 meter, sedangkan kandungan bakteri pada lokasi stasiun penelitian dekat pantai cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan stasiun penelitian di lepas pantai.

Densitas kandungan bakteri produktivitas di perairan Selat Buton dan Selat Muna menunjukkan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan pada perairan Selat Kabaena, Selat Tioro dan Laut

Flores, hal ini mengindikasikan bahwa di perairan tersebut kandungan material organiknya dalam bentuk Carbon (C) yang relatif tinggi.

Densitas kandungan bakteri produktivitas pada kolom air di permukaan laut lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedalaman laut 100 meter, perbedaan jumlah kandungan ini erat kaitannya dengan produktivitas perairannya.

Kandungan bakteri produktivitas di perairan Selat Buton dan Selat Muna menunjukkan kandungannya lebih rendah bila dibandingkan dengan perairan muara Sungai Digul dan Laut Arafura. Namun demikian perairan Selat Buton dan Selat Muna masih lebih tinggi kandungan bakteri produktivitasnya dibandingkan dengan perairan Laut Sulawesi dan perairan Simeuleu, Nanggroe Aceh Darussalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10:257–263.
- Cho, B.C. and F. Azam. 1990. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean euphotic zone. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 63:253–259.
- Dahuri, R., J. Rais. S.P. Ginting, dan M.J. Sitepu. 1996. Pengelolaan sumber daya wilayah pesisir dan lautan secara terpadu. Pradnya Paramita, Jakarta: 305 hal.
- Hobbie, J.E., R.J. Daley, and S. Jasper. 1977. Use Nucleopore Filters for Counting Bacteria by Fluorescence Microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 33:1225–1228.

- Kamiyama, T. 2004. The microbial loop in a eutrophic bay and its contribution to bivalve aquaculture. *Bull. Fish. Res. Agen. Supplement*, 1:41-50.
- Kunarso, D. H. 2005. Penelitian kondisi bakteriologi di perairan muara Sungai Digul dan Laut Arafura, Irian Jaya. *Dalam*: J. Subagja, E. Semiarti, R.S. Kasiamdari. R. Pratiwi dan T.R. Nuringtyas (eds). Prosiding Seminar Nasional dan Kongres Biologi XIII. Yogyakarta, 16 – 17 September 2005: 182 – 185 hal.
- Kunarso, D. H., R. Nuchsin, dan Y. Darmayati. 2008. Kajian bakteri produktiviti di estuari Cisadane. *Dalam*: Ekosistem Estuari Cisadane (Ruyitno, Syahailatua, A. M. Muchtar. Pramudji. Sulistijo dan T. Susana, eds). Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta: 27 – 37 hal.
- Kunarso, D. H. 2008. Biodiversitas bakteri heterotrofik dan hubungannya dengan kualitas perairan di Selat Makassar, Kalimantan Timur. *Lingkungan Tropis* (P. Sudjono. R. Ruhayat dan W. Astono eds), IATPI, Bandung: 473 – 485.
- Kunarso, D. H. 2010. Kandungan bakteri produktiviti dan bakteri trofik di perairan Simeuleu, Nanggroe Aceh Darussalam. *Ilmu Kelautan*, UNDIP, Semarang: 256 – 269.
- Kunarso, D. H. 2010. Karakteristik parameter bakteriologikal hubungannya dengan peruntukan kawasan tataguna lahan di perairan Teluk Lampung. *Lingkungan Tropis*, 4(1):17–29
- Nybakken, J.W. 1988. Biologi laut satu pendekatan ekologis. Alih bahasa oleh M. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo dan S. Sukarjo. P.T. Gramedia, Jakarta: 459 hal.
- Pernetta, J.C. and J.D. Milliman. 1995. Land–Ocean interaction in the coastal zone implementation plan. IGBP Report No: 33, Stockholm: 215 pp.
- Rheinheimer, G. 1980. Aquatic microbiology. A Wiley Inter Science Publication, Chichester: 225 pp.
- Ruyitno, N. 2000. Sumbangan karbon bakteri dalam perairan laut Sulawesi. *Dalam*: Perairan Indonesia Oseanografi, Biologi dan Lingkungan. (A. Aziz dan M.Muchtar, eds).Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta: 179 – 185.
- Van Es, F.B. and L.A. Meyer-Reil. 1982. Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. *Adv. Microb. Ecol.*, 6:111–170.
- Zimmerman, R. and L.A. Meyer-Reil, 1974. A new Method for Fluorescence Staining of Bacterial Populations on Membran Filter. *Kiel Meeresforsch*, 30:24–27.